

СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОР НА БОРТУ ПОДВИЖНЫХ УСТАНОВОК

Работа посвящена решению вопроса создания одномашинной электрической сети на борту подвижных установок. Дано понятие о конструктивных особенностях новой системы стартер-генератора, проанализированы режимы стартера и генератора, представлена силовая электрическая схема с анализом перехода системы в стартерный и генераторный режимы. Приведен принцип действия приводного устройства и принципы перевода стартер-генератора в тот или другой режим.

Ключевые слова: стартер-генератор, коллектор, выпрямитель, тормозной диск, шкив, рычаг, пускопереключающее устройство, коленчатый вал.

ВВЕДЕНИЕ

Подвижные автономные объекты, куда входят автомобильные транспортные средства общего назначения, тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины, различные военные подвижные установки и другая техника на своем борту имеют электрическую сеть различной сложности. В эту систему входят потребители электрической энергии и генерирующий узел – комплекс, состоящий из аккумулятора и генератора. Одним из мощных потребителей электроэнергии на борту является электрическая машина постоянного тока, которая выполняет функцию стартера. Стартер и высокочастотный генератор являются основой бортовой сети. Находясь в крайне противоположных режимных условиях, они действуют в различных отрезках времени, что приводит к «нарушению» обратимости режимов, касающихся электрических машин в общем [1].

Цель работы. Решение проблемы совмещения стартера и генератора в одной электрической машине с учетом повышения ресурса, снижения удельного веса, повышения технологичности конструкции, поддержания надежности на современном уровне и оценки материального расхода.

Элементы конструкции и размещение. Вопросы конструкции и размещения проекта «Бортовая система одномашинного электромеханического преобразования» [2] рассматриваются вместе с другими элементами бортового комплекса. Стартер-генераторный комплекс включает в себя несколько элементов:

- электрическая машина с двумя последовательно соединенными якорными обмотками;
- пускопереключающее устройство (редуктор специальной конструкции), переводящее комплекс в стартерный или генераторный режим, размещенный между электрической машиной и шкивом ременной передачи;
- ременная передача, которая создает связь между валом пускопереключающего устройства и коленчатым валом ДВС;
- пусковое реле, дающее команды на включение, автоматизацию и сигнализацию режима.

Размещение комплекса предусматривается поблизости коленчатого вала с учетом равновесия ДВС. Ременная

передача проектируется с учетом всех ожидаемых нормальных моментов и случайных перегрузок.

Выбор основного элемента и принцип функционирования. Разработанный комплекс проектируется на базе стартера двигателя постоянного тока, применяющегося в настоящее время на борту транспортных систем [3]. Несмотря на некоторые принципы создания бесконтактных электрических машин [4] по существу нет замены современному конструктивному решению, которое выполняется двумя электрическими машинами – стартером и генератором. Оставляя одну из них в бортовой электрической сети, то есть машины постоянного тока, можно использовать ее в качестве и стартера и генератора [5]. Для создания функции генератора необходимо сместить щетки (зона смещения соответствует раствору контактов) с коллектора на стойку, отличающаяся по уровню всего на несколько миллиметров и находящаяся рядом с коллектором. Смещение коллекторов не потребует больших усилий, если механический комплекс смонтировать на скользящей смазанной системе. Учитывая, что эта система снабжена пружинами, действующими в сторону стойки, то вполне возможно нет необходимости усилить силу возвратной пружины реле управления. Такое положение будет соответствовать электрическому контактному состоянию коллекторно-щеточной системы. При вращении якоря коллектор будет превращен в источник переменного тока (при наличии потока). Частота индуцированной электродвижущей силы (э.д.с.) будет определена по известной формуле:

$$f = \frac{pn}{60}, \quad (1)$$

где p – число полюсов; n – частота вращения якоря.

Если учесть, что при холостом ходе частота вращения коленчатого вала находится около 700–800 об / мин, то в диапазоне генераторного режима частота $f=50 \div 250$ Гц. Если снимать э.д.с. с коллектора в виде трехфазного источника, выпрямлять и подавать ее через контактные кольца в бортовую электрическую систему, то создается обычный генераторный рабочий режим машины (рис. 1).

Стартерный режим, являющийся кратковременным, соответствует замкнутому положению главных контак-

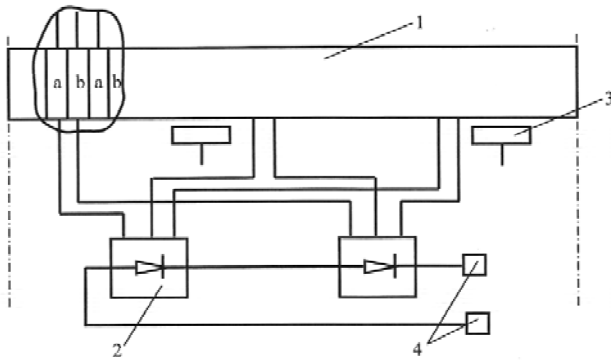


Рис. 1. Электрическая схема исследования генераторного режима системы стартер-генератор:

1 – коллектор; 2 – выпрямители; 3 – щетки на стойке; 4 – контактные кольца; a, b – обмотки якоря

тов пускового реле. После команды «ПУСК» в течение времени раствора контактов щетки двигателя в сторону коллектора и в начале провала контактов осуществляется касание щеток об коллектор, подается напряжение аккумулятора на якорную обмотку. Связь с э.д.с. и напряжением аккумулятора в момент пуска регулируется различными путями: разрыв цепи, применение тиристора, включение барьерного сопротивления. Регулятор напряжения также участвует в этом переходном процессе. Снятием команды «ПУСК» под действием возвратных пружин щеточного узла и специального рычага реле щеточная система машины возвращается и исходное положение – на стойку. Стартер-генератор настраивается на генераторный режим.

Вопросы проектирования и оценка материального баланса. Одним из основных вопросов разработки является решение этапов проектирования: выбор входных параметров и компоновки конструкции, проверка последовательности выполнения данного режима и свободного функционирования любого режима, предварительная оценка расхода материалов.

С целью сближения противоположных режимных условий (двигательный, генераторный), в качестве входных параметров принимаются частота вращения якоря, пусковая мощность, бортовая электрическая мощность [2]: частоты вращения в стартерном – n_c и в генераторном режимах – $n_{min.r}$.

Частота вращения n_c принимается такой, чтобы получить наименьший удельный вес машины. При этом требуется повышение значения n_c и одновременное сохранение стабильности. При частотах вращения $n_{min.r}$ должно вырабатываться напряжение, равное номинальному напряжению бортовой электрической сети U_6 с учетом падения напряжений в системе. Исследования показали, что при современных конструктивных решениях по исполнению обмотки якоря, приемлемому для двух режимов, можно принять $n_{min.r}$ в $2 \div 2,5$ раза меньше частоты вращения стартерного режима – n_c .

Разработанная система проектируется на базе машины постоянного тока – стартера, применяющегося в настоящее время на борту транспортных объектов.

Для оценки общей экономии материалов по сравнению с существующей конструкцией необходимо учесть не только вес материалов электрических машин, но и вес всех коммуникаций, связанных с обеспечением режима стартера и генератора:

- создание режима генератора осуществляется той же машиной постоянного тока (как высокочастотный генератор) и по этой причине из сравниваемого комплекта почти полностью снимается вес генератора;

- новый комплекс предусматривает ременную передачу момента от электрической машины на коленчатый вал ДВС в режиме стартера и обратно в генераторном режиме. По этой причине уменьшается количество крепежных деталей и соответственно, уменьшается общий вес стартер-генераторного комплекса;

- в связи с повышением частоты вращения якоря новой машины уменьшается объем меди, вес электро-технической стали, вес конструктивных элементов.

Новые элементы в конструкции. Одним из важных вопросов проекта является создание промежуточного элемента между электрической машиной и коленчатым валом ДВС. Он должен выполнять все ниже перечисленные требования, необходимые для функционирования двух режимов:

- в стартерном режиме – получение пусковой частоты вращения коленчатого вала;

- в генераторном режиме – создание единого вала между коленчатым валом и электрической машиной, работающей как высокочастотный генератор.

Таковыми элементами являются пускопереключающие устройства, которые работают без вмешательства извне.

Конструктивные особенности конструкции пускопереключающего устройства. Первая конструкция для выполнения пускопереключающей операции, состоящая из гипоидных и винтового зубчатых передач, освобождена от муфты свободного хода. Она дает возможность на много увеличить момент, передаваемый от двигателя постоянного тока к коленчатому валу ДВС. Элементы устройства с двигателем постоянного тока показаны на рис. 2, размещение рычага на винтовом колесе – на рис. 3.

В режимах стартера и генератора движение рычага ограничивается опорами, закрепленными на винтовом колесе. Тормозной диск соединен с основанием (рис. 3), связанным с ведущим валом и имеет тормозную защелку, которая связана контактом «К» с электрической схемой.

Функциональные особенности конструкции. Приводное устройство для стартер-генератора работает следующим образом.

Пуск ДВС осуществляется двигателем постоянного тока, примененного для стартер-генератора. Для выполнения операции дается команда с помощью пускового ключа (на рисунках не показан). При подаче напряжения на катушку пускового реле (на рисунках не показано) срабатывает и с помощью рычага, связанного с якорем двигателя постоянного тока, устанавливает тормозную защелку в паз тормозного диска, а тормозной диск вместе с основанием создает момент, действующий против вра-

щения коленчатого вала ДВС. В это время также подается напряжение на обмотку якоря стартер-генератора.

Вращающий момент вала двигателя постоянного тока, имеющий механическую связь с гипоидной передачей и выходным валом приводного устройства, винтовой и ременной передачами передается на коленчатый вал ДВС. Колесо винтовой передачи изготавливается из двух частей. Полуколеса имеют возможность скольжения между собой вокруг общей оси и они с суммой сил F_1 и F_2 переводят на ведомый вал (рис. 3, а) момент, действующий в стартерном режиме.

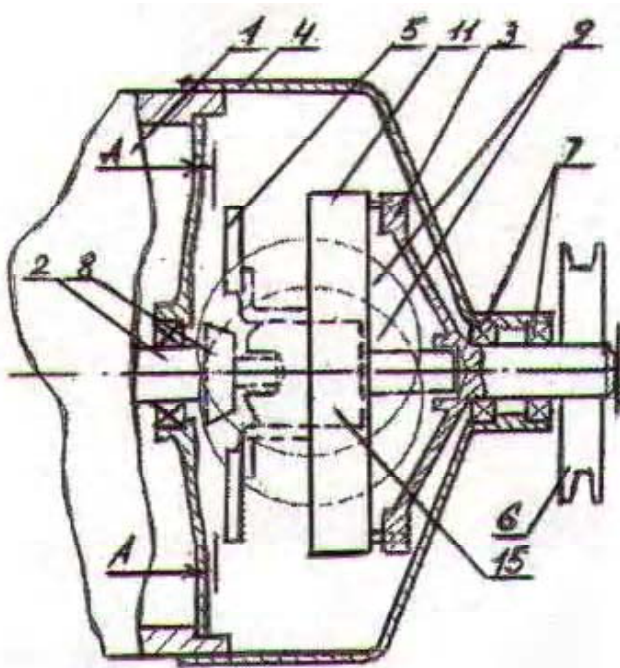


Рис. 2. Конструктивная схема приводного устройства для стартер-генератора:

- 1 – двигатель постоянного тока; 2 – ведущий вал;
- 3 – ведомый вал; 4 – крышка; 5 – тормозной диск; 6 – шкив;
- 7 – подшипники; 8 – малое зубчатое колесо гипоидной передачи; 9 – большое зубчатое колесо гипоидной передачи;
- 10 – зубчатое колесо винтовой передачи;
- 11 – винтовое колесо

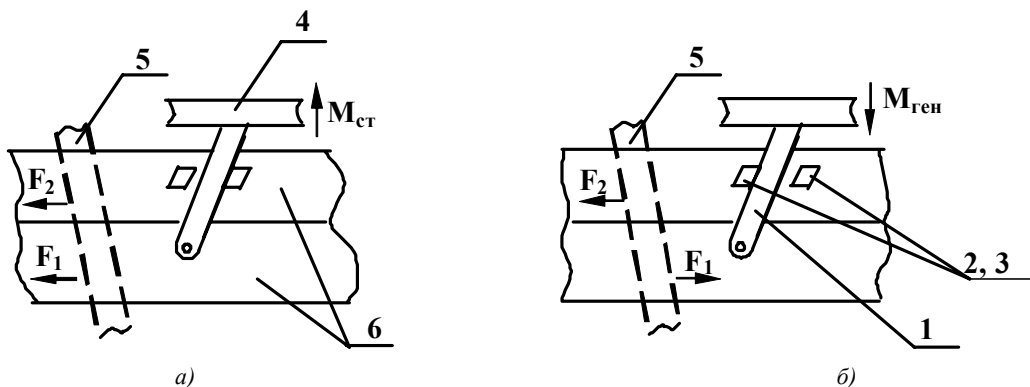


Рис. 3. Размещение рычага на винтовом колесе:

- а – режим «стартер»; б – режим «генератор»; 1 – рычаг; 2, 3 – опоры; 4 – ведомый вал; 5 – зубчатое колесо; 6 – винтовое колесо

Частота вращения вала якоря двигателя постоянного тока ω_1 уменьшается до пусковой частоты вращения коленчатого вала ДВС с учетом трехступенчатой передачи:

$$\omega_{п} = \omega_1 \frac{1}{K_0}, \quad (2)$$

где $K_0 = K_{ч} \cdot K_{в} \cdot K_{р}$ – общее передаточное число; $K_{ч}$ – передаточное число гипоидной передачи; $K_{в}$ – передаточное число винта; $K_{р}$ – передаточное число ремня.

В зависимости от входных параметров проекта и поставленных требований значение K_0 может регулироваться с помощью составляющих, $K_{ч}$, $K_{в}$ и $K_{р}$.

Некоторые рассуждения и приведенные аналитические исследования показали, что конструкция, выполненная с использованием гипоидной и винтовой передач дает возможность повышения передаваемого момента. В каждой передаче момент переводится с помощью линейной связи между зубцами, что способствует понижению шума до нижнего уровня. Допустимая нагрузка машины по моменту достаточно высока, что позволяет уменьшить массогабаритные параметры, а это в свою очередь приводит к уменьшению общего объема размещения элементов. Как только запускается ДВС начинается подготовка и переход в генераторный режим. В момент запуска ток двигателя постоянного тока резко уменьшается, и защелка освобождается от тормозного диска; приводное устройство переходит в свободное положение. Момент, созданный коленчатым валом, с высокой частотой вращения передается на ведущий (в стартерном режиме – ведомый) вал. Винт винтовой передачи, колеса гипоидной передачи и соединенный с ними внутренний винт будут вращаться по направлению вращения. Если частота вращения ведущего вала ω_1 (в стартерном режиме ω_2) будет выше частоты вращения ω_2 (в стартерном режиме ω_1) то стартер-генератор не будет связанным с каким либо моментом; в это время свободное несвязанное движение продолжится до $\omega_1 = \omega_2$. При равенстве частот ($\omega_1 = \omega_2$) начинается передача момента от ведущего к ведомому валу. Передача

осуществляется торможением двух винтовых колес (рис. 3, б) под действием генераторного момента $M_{ген}$. С силами F_1 и F_2 , действуя на полуколеса с помощью рычага, винтовые колеса стараются сдвинуть их в противоположенном направлении. После этого винтовые колеса подвергаются полному торможению. Изменение сил F_1 и F_2 пропорционально значению момента M_1 дает возможность создать надежную механическую связь по всему диапазону генераторного режима.

ВЫВОДЫ

Разработана часть бортовой электрической сети – схема одномашинной системы преобразования – стартер-генератор, дан анализ принципам работы конструктивного комплекса при переводе системы в разные режимы: стартера и генератора.

Предложен новый конструктивный элемент системы – пускопереключающее устройство с функциональными особенностями, проанализирована его работа в комплексе с ДВС.

Дана оценка технико-экономическим параметрам при замене комплекса стартер-генератор, действующего в

настоящее время, что позволило уменьшить количество крепежных деталей и соответственно, уменьшить общий вес стартер-генераторного комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копылов, И. П.* Проектирование электрических машин / [Копылов И. П., Горяинов Ф. А., Клопов Б. К. и др.]. – М. : Энергия, 1980. – 470 с.
2. Пат. Азербайджанская Республика. Одномашинная система электромеханического преобразования / З. Н. Мусаев. – № 1990212; опубл. 01.12.1999.
3. Техническая эксплуатация автомобилей / под ред. Г. В. Крамаренко. – М. : Транспорт. – 1983. – 488 с.
4. *Копылов, И. П.* Электрические машины / И. П. Копылов. – М. : Высшая школа, 2004. – 395 с.
5. *Мусаев, З. Н.* Применение одномашинной системы в бортовой сети электрооборудования / З. Н. Мусаев / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2008. – Вип. 3. (Ч. 2.). – С. 31–33.

*Стаття надійшла до редакції 04.02.2011.
Після доробки 05.09.2012.*

С. А. Ханахмедова

Стартер-генератор на борті рухливих установок

Робота присвячена розв'язку питання створення одномашинної електричної мережі на борті рухливих установок. Дано поняття про конструктивні особливості нової системи стартер-генератора, проаналізовані режими стартера й генератора, надана силова електрична схема з аналізом переходу системи в стартерний і генераторний режими. Наведено принцип дії приводного обладнання і принципи переводу стартер-генератора в той або інший режим.

Ключові слова: стартер-генератор, колектор, випрямляч, гальмовий диск, шків, важіль, пусковий перемикаючий обладнання, колінчатий вал.

S. A. Khanakhmedova

Starter-generator at the onboard of mobile installations

Work is devoted to the decision of a question of creation of a one-machine electric network on board of mobile installations. It is given concept about design features of the new starter-generator system, starter and generator modes are analyzed, the power electric scheme with the analysis of system transition in a starter and a generating mode is given. The principle of their action and principles of the starter-generator transfer in this or that mode is given.

Key words: starter-generator; collector; rectifier; brake disk; pulley; lever; starting switching device, a crankshaft.

УДК 621.313

А. М. Зюзев¹, В. П. Метельков²

¹Д-р. тех. наук, профессор Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

²Канд. тех. наук, доцент Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДВУХМАССОВОЙ ТЕПЛОВОЙ СХЕМЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТА

Рассмотрена задача определения параметров упрощенной термодинамической модели асинхронного двигателя с учетом результатов эксперимента. Приведены результаты расчета нагрева обмотки статора, выполненные с использованием предлагаемой модели.

Ключевые слова: термодинамическая модель, асинхронный двигатель, параметры.

Для исследования процессов нагрева асинхронного двигателя (АД) в режимах работы с интенсивным тепло-

выделением практически не пригодна широко известная простейшая одномассовая термодинамическая мо-